

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tärinäeristin CLT-Elementtirakenteessa

Opinnäytetyö

Juuso Oinonen 0901242

Huhtikuu 2016

Tekijä(t)

Juuso Oinonen

Nimeke

Tärinäeristin CLT-Elementtirakenteessa

Opinnäytetyössä tarkastellaan teoreettisella tasolla ääntä ja äänioppia, sekä sovelletaan teoriaa rakentamisessa. Puurakentaminen on kasvattamassa suosiotaan rakennusteollisuudessa ja opinnäytetyössä on tutkittu äänen vaikutuksia puuhun ja puurakenteisiin.

Opinnäytetyössä syvennyttään puurakentamiseen ja työhön on valittu esimerkitapaus, jossa päärakennusaineena on CLT-elementti. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään ääni-värähtelyn vaikutuksia rakenteisiin ja sitä, tarvitseeko CLT-elementti rakenteessa erillisiä, tärinää eristäviä rakenteita tai materiaaleja.

Tapauksen teoreettiseen tarkasteluun on opinnäytetyössä käytetty Creo-nimistä tietokoneohjelmaa, jota on normaalisti käytetty konetekniikan puolella mallintamiseen. Creo-ohjelma pystyi mallintamaan CLT-elementtirakenteen värähtelyä, mutta tuloksien luotettavuuteen kannattaa suhtautua kriittisesti. Mallintamisessa saadut tulokset osoittivat, että CLT-elementtirakenne on itsessään ääniteknisesti tarpeeksi tärinää vaimentava rakenne ja näin ollen tärinäeristeen käyttöä voidaan kyseenalaistaa.

Kieli


suomi

Sivuja

Liitteet

37

Asiasanat: Puu, värähtely, äänenjohtavuus

 <div data-bbox="406 315 799 439"> <h1>Karelia</h1> <p>UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</p> </div>	<div data-bbox="858 309 981 340"> <p>THESIS</p> </div> <div data-bbox="858 383 1018 418"> <p>April 2016</p> </div> <div data-bbox="858 456 1406 568"> <p>Degree programme in Construction engineering</p> </div>	
<p>Author(s): Juuso Oinonen</p>		
<p>Title</p> <p>Vibration Isolation in CLT-Element Structure</p>		
<p>The aim of this thesis was to view sound and acoustics at a theoretical level about and apply that theory to construction engineering. Wood construction is raising its popularity in a construction industry, therefore this thesis aimed at studying the effects of sound on wooden structures.</p> <p>This thesis explores wood construction and a case where the main construction material is the CLT-element was chosen as an example. The intention of the study was to find out how the sound vibrations affect the structures and if there is any reason to use vibration isolator materials in the CLT-element structures.</p> <p>In the theoretical research about the case example, a computer program called Creo was used, which is normally used in mechanical engineering. The computer program was able to model the vibration in the CLT-element. This study revealed that the case example structure is massive enough to isolate the vibration of the frame. However, the results should be interpreted carefully because the reliability of the study could be inaccurate and need more investigating.</p>		
<p>Language</p> <p>Finnish</p>	<p>Pages</p> <p>Appendices</p>	<p>37</p>
<p>Keywords: wood, vibration, sound conductivity</p>		

Käsitteet

Askelääni

Askelääni tarkoittaa runkoääntä, jonka on aiheuttanut kulku lattialla tai portaissa tai esineiden siirtäminen.

Absorptio

Absorptio on ilmiö, jossa aineen molekyylit, ääniaallot tai valonsäteet imeytyvät väliaineeseen.

Desibeli (dB)

On äänenvoimakkuuden mittayksikkö.

Ilmäääni

Ilmäääni tarkoittaa äänilähteestä ilman välityksellä ympäristöön leviävää ääntä.

Runkoääni

Runkoääni tarkoittaa kappaleessa kulkevaa mekaanista värähtelyä, joka synnyttää ilmääntä.

Kaiunta

Kaiku tarkoittaa ääntä, joka on heijastunut jonkun aineen pinnasta, josta se kulkeutuu takaisin ihmisen kuuloelimiin.

Ääni

On ilmiö, jonka aiheuttaa molekyylien välinen värähtely. Ääni vaatii aina edetäkseen väliaineen, joka voi olla kaasua, nestettä tai kiinteää ainetta.

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet	6
1.2	Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat	6
1.3	Rajaukset	7
2	Äänioppi	7
2.1	Ääni ja sen ominaisuudet	8
2.2	Äänen vaimentaminen	9
2.3	Rakennusakustiikka	9
3	Mekaaninen aaltoliike	10
3.1	Poikittainen aaltoliike	10
3.2	Pitkittäinen aaltoliike	11
3.3	Aaltoliikkeen heijastuminen ja läpäisy	12
3.4	Superpositio ja interferenssi	13
3.5	Seisova aaltoliike	15
3.6	Resonanssi	16
4	Äänen esiintyminen asuinrakennuksissa	16
4.1	Puurakenteiden ääneneristys	17
4.2	Äänen sivutiesiirtyminen puurakenteissa	19
4.3	Ulkovaipan ääneneristävyys	20
4.4	Välipohjien askeläänieristys	20
5	Puun rakenne ja ominaisuudet	21
5.1	Puun koostumus	23
5.2	Äänenjohtavuus	25
6	CLT-Elementti	26
7	Tulokset	27
7.1	Case esimerkki 1	27
7.2	Tulokset	28
7.3	Johtopäätökset	33
8	Pohdinta	34
	Lähteet	35
	Liitteet	37

1 Johdanto

Puu on uusiutuvana ja ympäristöystävällisenä materiaalina kasvattamassa suosiotaan nykypäivän rakennusteollisuudessa. Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin tarkemmin puun ominaisuuksiin ja syvennyttiin enemmän puun äänenjohtavuuteen ja tarkasteltiin sen ominaisuuksia äänivärähtelyn vaikutuksen alaisena.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin ääniopin ja mekaanisen värähtelyn teoriaa ja sovelletaan sitä käytännön tilanteisiin teoreettisilla laskelmilla ja mallinnetaan Creo 2.0-tietokoneohjelmalla. Lisäksi työssä tarkastellaan erilaisia puurakenteita ja äänen käyttäytymistä niissä. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Karelian ammattikorkeakoulu.

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli syventyä teoreettisesti puun äänenjohtavuus ominaisuuksiin ja äänen vaikutuksiin puurakenteissa sekä nykyisiin menetelmiin puurakentamisessa. Tutkimuksessa pyrittiin löytämään uusia näkökulmia puurakenteiden ääneneristämiskäytännöihin sekä tutkimaan tärinäeristeen vaikutusta äänenjohtavuuteen puurakenteissa.

1.2 Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat

Opinnäytetyöhön on valittu teoreettisen tutkimuksen menetelmät, jonka lisäksi Mallinsin Creo-ohjelmistolla esimerkitapauksen mikä havainnollistaa teoreettisesti rakenteen värähtelyä. Opinnäytetyön suoritustapa on valittu tiukan aikataulun syystä, joten kattavia käytännönkokeita ei ole mahdollisuus suorittaa.

1.3 Rajaukset

Opinnäytetyö on rajattu puun äänenjohtavuuden syvempään tarkasteluun ja analysoimiseen. Tämän ansiosta tutkimusta on helpompi keskittää ydinosa-alueiden löytämiseen ja niiden syvällisempään tutkimiseen. Opinnäytetyön teoria pohjautuu fysiikan äänioppiin, mekaaniseen värähtelyyn sekä rakennusfysiikkaan. Tutkimuksessa sovelletaan tätä teoriaa käytännön esimerkkiin laboratoriotutkimuksessa ja teoreettisiin laskuihin.

2 Äänioppi

Mekaanisista aaltoliikkeistä ihmisen toimintojen kannalta tärkeimpiä ovat ääniaallot. Ääniaallot esiintyvät jokapäiväisessä elämässämme esimerkiksi kommunikoinnissa puhumalla, lisäksi useat tekniset sovellukset hyödyntävät ääniaaltoja. Ääni tarkoittaa sitä taajuusaluetta, jossa aaltoliike aiheuttaa ihmisen korvassa kuuloaistimuksen. Luonnossa esiintyviä ääniä, joita korvamme eivät havaitse ovat ultraääni ja infraääni. Ihmisen korvan havaitsema kuuloalue on taajuusvälillä 16 Hz–20 kHz (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 280–281; Helakorpi & Ahoranta 1999:216–217.)

Ääni syntyy värähtelystä, joka kulkeutuu äänilähteestä väliaineen välityksellä ihmisen korvaan. Ääntä voidaan muodostaa erilaisilla värähtelevillä kappaleilla sekä ilmapatsailla (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 280–281; Helakorpi & Ahoranta 1999: 216–217.)

Ääniaaltoihin liittyviä ominaisuuksia ovat esimerkiksi aallon nopeus, aallon taajuus sekä aallon pituus. Ääniaallot pystyvät esiintymään ympäristössämme eri muodoissa, joihin perehdymme lisää myöhemmin (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 280–281; Helakorpi & Ahoranta 1999: 216–217.)

2.1 Ääni ja sen ominaisuudet

Ääni on yksi vallitsevan maailmamme peruselementeistä ja sitä esiintyy ympärilämmme monenlaisissa muodoissa. Havaitsemamme äänet syntyvät aina jostakin ympäristömme äänilähteestä ja se tarvitsee kulkeutuakseen väliaineen, joka voi olla kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa. Ääni saa sitä kuljettavan väliaineen värähtelemään tietyllä taajuudella ja värähtely siirtyy kuuloelimiimme pitkittäisinä aaltoliikkeinä (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003:?: Helakorpi & Ahoranta 1999:221.)

Äänen etenemisnopeus on vahvasti riippuvainen sitä kuljettavasta väliaineesta. Kiinteä aine kuljettaa ääntä kaikkein nopeinten, kaasussa äänen eteneminen puolestaan on kaikkein hitainta ja esimerkiksi ilmassa äänen etenemisnopeuteen vaikuttavat myös ilmamassan lämpötila ja kosteus (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003:?: Helakorpi & Ahoranta 1999:221.)

Äänen kuulemisen vaikutuksia ovat taajuus ja äänen voimakkuus. Se äänenvoimakkuus, jonka aistimme korvassa, ei kasva samassa suhteessa äänenpaineen kanssa, vaan sen kasvu on paljon vähäisempää. Ääniaallon voimakkuus heikkenee, mitä kauemmaksi se on edennyt alkupisteestään. Tätä ilmiötä kutsutaan äänen leviämisvaimenemiseksi, joka on seurausta äänen hajaantumisesta ympäristöön. Desibeli (dB) on äänenvoimakkuuden mittayksikkö (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003:?: Helakorpi & Ahoranta 1999: 222–224.)

2.2 Äänen vaimentaminen

Äänen vaimentaminen tarkoittaa yksinkertaisuudessaan äänen etenemisen estämistä. Äänen etenemiseen pystytään vaikuttamaan käyttämällä ääntä absorboivaa materiaalia. Materiaalivalinnoilla ja erilaisilla rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan ääntä myös heijastaa takaisin lähteeseen tai äänilähde on myös mahdollista itsessään eristää ympäristöstä. Ääneneristävyudessa käytetään yksikköä (dB), joka kuvaa rakenteen kykyä estää äänen kulkua (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 300–301.)

2.3 Rakennusakustiikka

Akustisessa suunnittelussa on tarkoitus saavuttaa toimiva akustiikka erilaisten tilojen käyttötarkoitusten mukaiseksi. Ilmiöt, jotka liittyvät akustiikkaan, ovat absorptio ja kaiunta. Kaiunta tarkoittaa äänen heijastumista pinnasta ja absorboivilla materiaaleilla pyritään eliminoimaan nämä haitalliset heijastukset. Näiden ilmiöiden yhteisvaikutus määrittelee sen, millainen äänikenttä tilaan muodostuu (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 309–310.)

Esimerkiksi, jos puhuttaessa ääni heijastuu kuulijan korvaan 35 ms sisällä, kuulijan kuuloaisti yhdistää nämä äänet samaksi ääneksi, jonka seurauksesta kuulija kuulee äänen voimakkaammin. Jos heijastus kulkeutuu kuulijan korvaan tätä aikaa hitaammin, kuulee kuulija äänen kaikuna. Se, kuinka suuri määrä äänestä heijastuu takaisin äänilähteeseen ja kuinka suuri määrä absorboituu, riippuu aineesta ja äänen taajuudesta. Tätä suuretta kutsutaan jälkikaiunta-ajaksi (T), joka on tärkeä suure akustisessa suunnittelussa. Aikaan vaikuttavia tekijöitä ovat tilan tilavuus ja absorboiva kokonaispinta-ala (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 309–310.)

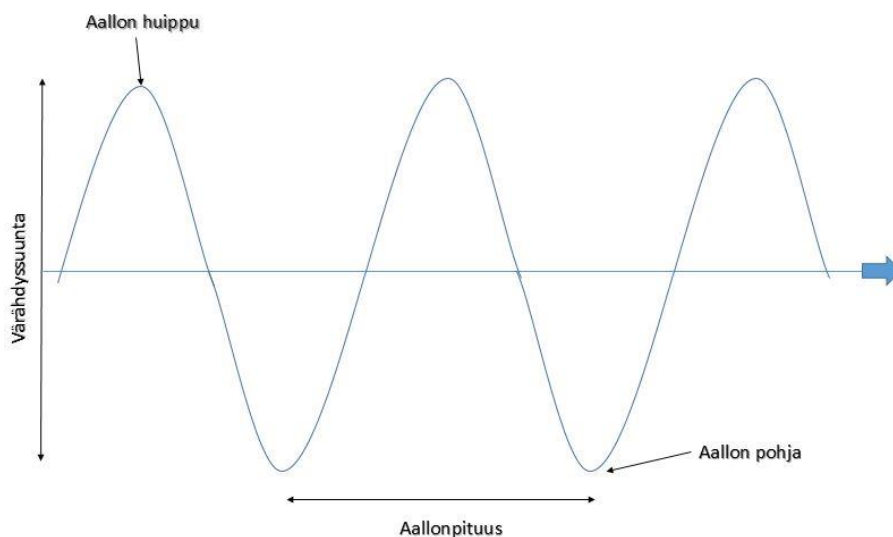
3 Mekaaninen aaltoliike

Mekaanisessa aaltoliikkeessä värähtely etenee väliaineessa. Väliaine itse ei liiku aaltoliikkeen mukana, vaan ainoastaan värähtelyn muodostama energia. Värähtely on jaksollista liikettä, missä samankaltainen jakso toistuu yhä uudestaan. Värähtelyn eteneminen perustuu siihen, että hiukkaset siirtävät energiaa viereiselle hiukkaselle. Ääniaallot kulkeutuvat väliaineessa joko pitkittäisenä tai poikittaisena aaltoliikkeenä. Aaltoliike voi edetä nesteissä ja kaasuissa ainoastaan pitkittäisinä aaltoliikkeinä, mutta kiinteissä väliaineissa molempina (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 252–253.)

Aaltoja ja niiden ominaisuuksia voidaan kuvailla muutamilla yleisillä suureilla, kuten aallonpituus, amplitudi, jaksonaika ja taajuus. Amplitudi on aallonkorkeuden maksimiarvo väliaineessa yhden jakson aikana ja se mitataan yksiköissä, jotka riippuvat aallon tyypistä. Esimerkiksi kitaran kielessä amplitudi mitataan matkana. Aikaa joka kuluu yhteen aallon värähdykseen, kutsutaan jaksonajaksi. Taajuus kertoo puolestaan kuinka monta värähdystä tapahtuu tietyn ajan kuluessa (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 252–253; Helakorpi & Ahoranta 1999: 215–224.)

3.1 Poikittainen aaltoliike

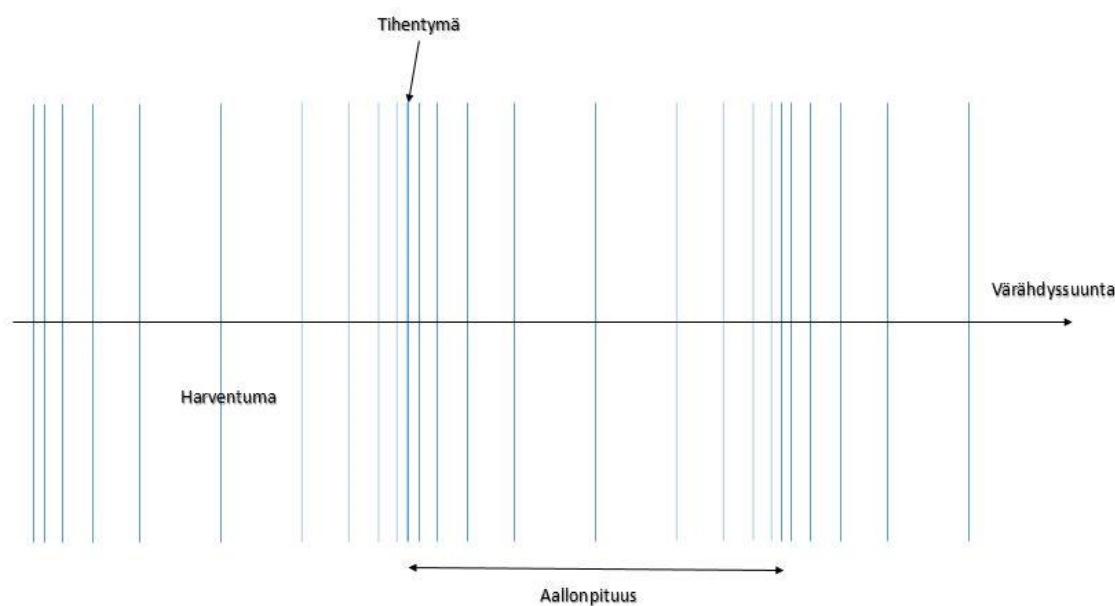
Poikittaisissa aaltoliikkeissä aalto värähtelee kohtisuoraan etenemissuuntaan nähden. Aaltoliike on tasapainotilaan vaikuttava häiriö, joka edetessään ei kuljeta väliainetta mukanaan. Poikittaisia aaltoliikkeitä ovat esimerkiksi veden aallot ja valo ("Aaltoliikkeen muodot" <<https://peda.net/valkeakoski/pk/tyry/jopo-luokka/efysiikka-72/aal>> 1.7.2015).



Kuva 1. Poikittainen aaltoliike

3.2 Pitkittäinen aaltoliike

Pitkittäisissä aaltoliikkeissä aalto värähtelee aallon etenemissuunnassa. Poikittaisen ja pitkittäisen aaltoliikkeen nopeuteen vaikuttavat merkittävästi väliaineen ominaisuudet. Pitkittäistä aaltoliikkeitä on esimerkiksi äänen eteneminen ilmassa ("Aaltoliikkeen muodot" <<https://peda.net/valkeakoski/pk/tyry/jopo-luokka/efysiikka-72/aal>> 1.7.2015).

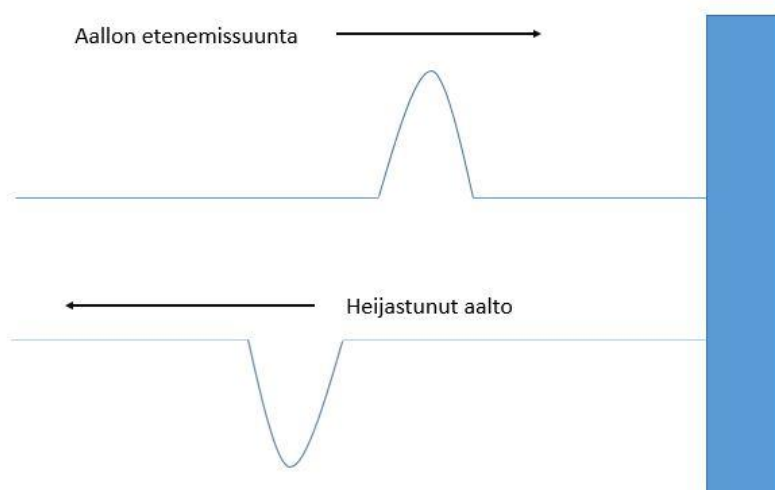


Kuva 2. Pitkittäinen aaltoliike

3.3 Aaltoliikkeen heijastuminen ja läpäisy

Kun tasa-aineisessa väliaineessa etenevä aaltoliike kohtaa kiinteästi kiinnitetyn kahden aineen rajapinnan, aaltopulssi palaa esteestä takaisin, mutta aaltopulssin suunta on kääntynyt (esimerkiksi kuva 3). Tämä johtuu siitä, että pulssi aiheuttaa esteeseen ylöspäin suuntautuvan voiman, joka aiheuttaa väliaineeseen vastavoiman ja kääntää pulssin (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 266–267; Helakorpi & Ahoranta 1999:228.)

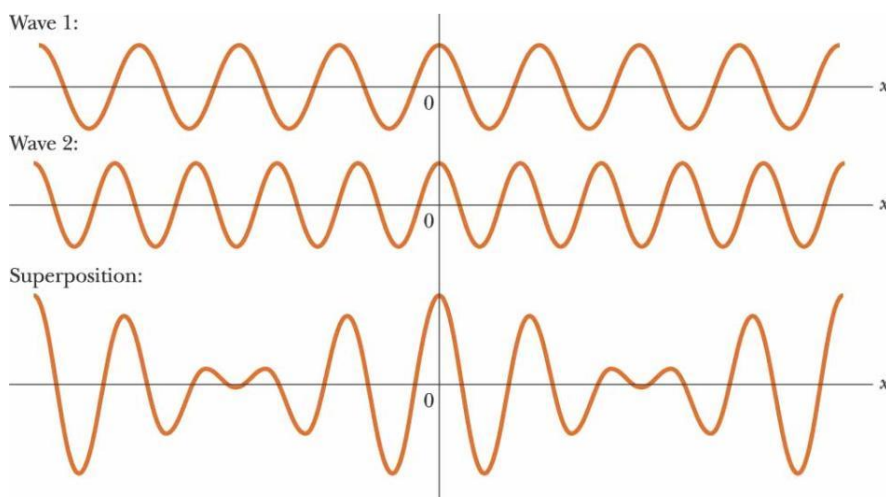
Kun taas väliaineen tiheys muuttuu matkalla, läpäisee osa aaltopulssista rajapinnan ja osa palaa takaisin heijastuksena. Jos aaltopulssi kulkee kevyemmästä tiheämpään väliaineeseen, niin aaltopulssi kääntyy heijastuksessa. Jos tilanne on päinvastainen, eli pulssi kulkee tiheämmästä väliaineesta kevyempään, niin aaltopulssin heijastus ei käännä (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 266–267; Helakorpi & Ahoranta 1999:228.)



Kuva 3. Aaltoliike heijastuu kääntäen, kun väliaine on kiinteästi kiinni aineiden rajapinnassa.

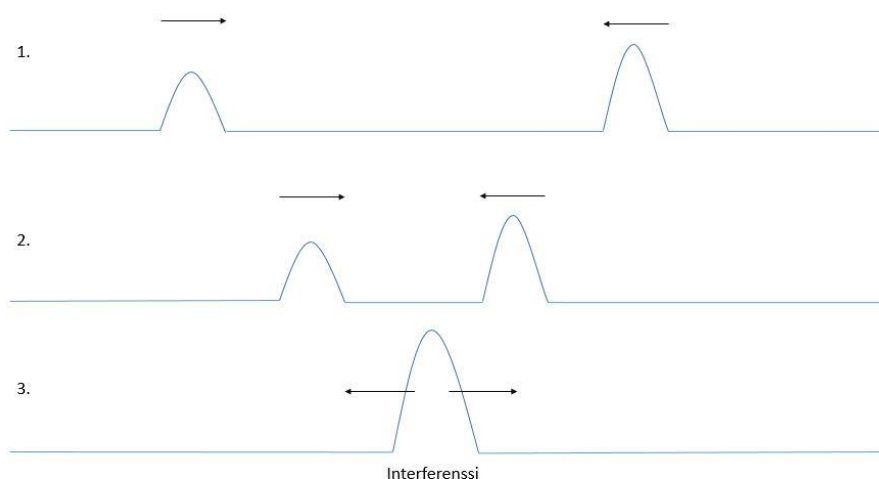
3.4 Superpositio ja interferenssi

Useita luonnossa esiintyviä aaltoliikkeitä ei pystytä kuvaamaan vain yhdellä aaltoliikkeellä. Silloin tarvitaan useiden aaltoliikkeiden summa, joita käsitellessä voidaan käyttää superpositioperiaatetta (esimerkiksi kuva 4). Silloin kun kaksi tai useammat aalto-liikkeet etenevät samassa väliaineessa, niin kyseinen aaltofunktio on yksittäisten aaltofunktioiden algebralinen summa (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 268–269.)



Kuva 4. Tässä kuvassa on esitetty kahden aallon kulkeminen samassa väliaineessa, jota kutsutaan superpositioksi. (Kuva: "Research paper" <http://www2.hesston.edu/Physics/HeisenbergJake/research_paper.htm>:3.7.2015)

Aaltoliikkeet voivat kulkea väliaineessa myös toistensa läpi aiheuttamatta häiriötä toisiinsa (kuva 5). Tällaisten aaltojen kohtaamispistettä kutsutaan interferenssiksi. Jos molemmat pulssit ovat poikkeamiltaan samansuuntaiset, niin interferenssi on voimistava. Jos toinen pulsseista on poikkeamaltaan erisuuntainen, niin interferenssi on silloin heikentävä (Inkinen, Manninen & Tuohi 2003: 268.)



Kuva 5. Kuvassa on havainnollistettu interferenssi, eli kahden aallon kohtaamis-
piste.

3.5 Seisova aaltoliike

Kun kaksi aaltoliikettä etenee väliaineessa vastakkaisiin suuntiin samalla taajuu-
della, kun aaltoliike on heijastunut esteestä häviöttä takaisin, sanotaan sellaista
aaltoliikettä seisovaksi aaltoliikkeeksi. Tällöinen tapaus voi olla esimerkiksi
jännitetty lanka, joka on kiinnitetty kummastakin päästä kuten kitaran kieli. Tätä
tilannetta sanotaan poikittaiseksi seisovaksi aaltoliikkeeksi (Inkinen, Manninen &
Tuohi 2003: 268–269.)

Pitkittäinen seisova aaltoliike syntyy levyissä ja tangoissa, kun se kiinnitetään
keskikohdasta ja napautetaan jompaakumpaa vapaata päätä (Inkinen, Manninen
& Tuohi 2003: 272.)

3.6 Resonanssi

Kaikilla värähtelevillä kappaleilla on ominaisvärähtelytaajuus, joka on taajuus jolla kappale pyrkii luonnollisesti värähtelemään. Kappale on resonanssissa, kun siihen vaikuttaa ulkopuolinen voima, jonka värähtelyn taajuus on sama kuin kappaleen ominaisvärähtelytaajuus. Tekniikassa resonanssista on paljon haittaa, joten se pyritään eliminoimaan mekaanisista laitteista mahdollisimman hyvin. Musiikkisoittimissa resonanssista puolestaan on hyötyä, esimerkiksi kitaran kielten soiminen perustuu resonanssiin. Seinä- tai lattiarakenteen ilmaääneneristävyys on heikko, mikäli äänen ja rakenteen värähtely ovat resonanssissa toistensa kanssa. (Siikanen 2004: 140; Helakorpi & Ahoranta 1999: 218–228)

4 Äänen esiintyminen asuinrakennuksissa

Rakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on hyvien ääniolosuhteiden saavuttamiseksi otettava huomioon ääneneristyksen lisäksi myös muut rakennuksen tai tilan ääniolosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten melulähteen voimakkuus ja tilojen keskinäinen sijoittelu. (RakMK:n osa C1 1998.)

Asuinrakennusten suunnittelua ja rakentamista ohjaa Suomen rakentamismääräyskokoelma C1 (1998) ja se käsittelee ääneneristämistä sekä meluntorjuntaa. Asuinrakennuksissa esiintyvät äänet ovat yleensä ilmaääniä, askelääniä ja runkoääniä. Ilmaääni tarkoittaa äänilähteestä ilman välityksellä ympäristöön leviävää ääntä. Askelääni taas tarkoittaa runkoääntä, jonka on aiheuttanut kulku lattialla tai portaissa tai esineiden siirtäminen. Runkoääni tarkoittaa kappaleessa kulkevaa mekaanista värähtelyä, joka synnyttää ilmaääntä.

Yleisimpiä asuinrakennuksen äänilähteitä ovat luonnonilmiöt, ihmiset, koneet ja laitteet tai muut ulkopuoliset vaikutukset rakenteisiin. Rakennuksen ääneneristä-

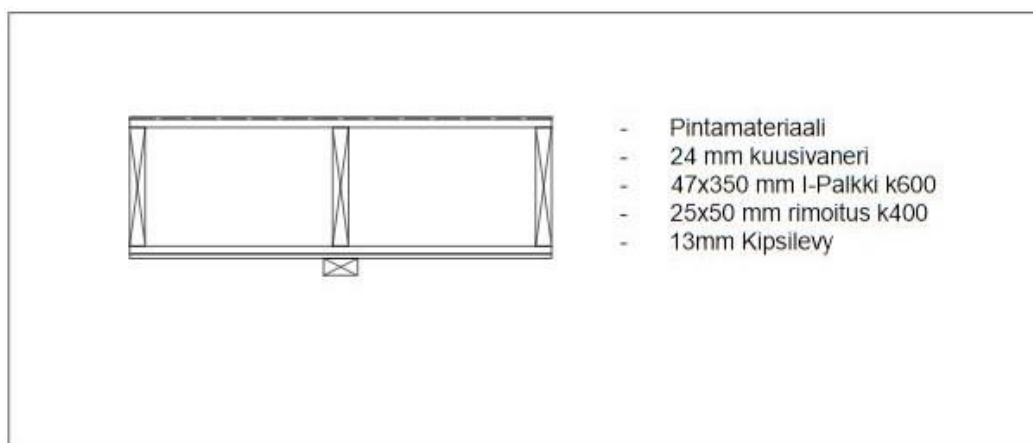
vyöteen voidaan vaikuttaa rakennepakkuuksilla, rakenneratkaisuilla ja ääneneristävyyttä tehostavilla rakennusmateriaaleilla. Puu- ja kivirakenteiden ääneneristysominaisuudet poikkeavat merkittävästi toisistaan, joten niihin sovelletaan eri menetelmiä.

Rakennuksien äänimaailmaan pyritään vaikuttamaan rakennusakustisella suunnittelulla, jossa tärkeimmät käsitteet ovat kaiku ja absorptio. Jokaisella rakennuksella ja tilalla on oma ominainen käyttötarkoituksensa, joka tulee ottaa huomioon rakennuksen akustiikkaa suunniteltaessa.

4.1 Puurakenteiden ääneneristys

Puurakentamisessa ääneneristysmenetelmät poikkeavat merkittävästi esimerkiksi betonirakentamisesta. Puurakenteet, jotka täyttävät paloluokitukset, ovat usein hyvin ääntä eristäviä ja kelpaavat sellaisenaan. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääniolosuhteet ovat hyvinkin erilaiset verrattuna kivirakenteiseen asuinrakennukseen. Puurakenteissa saadaan kitkettyä tehokkaasti korkeataajuisia melua pois, mutta matalataajuisen ääniä saattaa kuulua voimakkaana viereiseen asuinhuoneistoon, kun taas kivirakenteisessa asuinrakennuksessa tilanne on päinvastainen (Lahtela 2004, 14–36.)

Koska puu on materiaalina hyvin kevyttä, on asuinrakennuksen ääneneristävyysvaatimuksien täyttäminen puurakenteen omalla massalla miltei mahdotonta. Puurakenteen ääneneristävyysvaatimukset saadaankin täytettyä ainoastaan levypintailla kaksinkertaisilla rakenteilla. Kaksinkertaisen seinärakenteen ääneneristävyys perustuu toisistaan erillään olevien levyrakenteiden ja niiden välissä olevan ilmatilan yhteistoimintaan. Mitä paksumpi seinärakenteen ilmatila on, sitä paremmin se vaimentaa levyrakenteiden välillä kulkeutuvaa mekaanista värähtelyä, jolloin ääneneristävyys paranee seinässä. Seinärakenteen ääneneristävyyttä voidaan myös parantaa asentamalla sinne ääntä absorboivaa materiaalia, kuten mineraalivillaa (Lahtela 2004, 14–36.)



Kuva 6. Kaksinkertainen välipohjarakenne

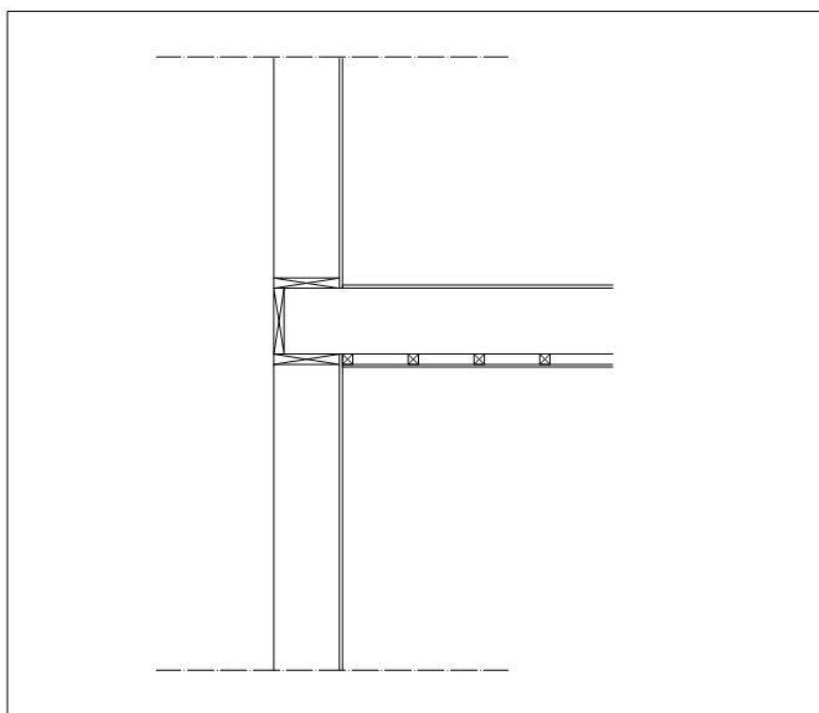
Kaksinkertaisen välipohjarakenteen (Kuva 6.) toimintaperiaate on samanlainen, kuin seinärakenteessa. Riittävän askeläänieristävyyden saavuttamiseksi, suositellaan välipohjarakenteeseen asennettavaksi kelluvaa pintalaattaa tai tarpeeksi joustavaa pintamateriaalia. Kelluva pintalaatta voi olla levyrakenteinen tai betonirakenteinen, mutta suositeltavampi vaihtoehto on betonirakenteinen, koska se lisää rakenteen massaa, joka parantaa rakenteen matalien taajuuksien eristämistä. Kelluvan pintalaatan pohjalle asennetaan tarkoitukseen soveltuva askeläänieristys (Lahtela 2004, 14–36.)

Välipohjan ilmatilan paksuus vaikuttaa sekä askeläänien että ilmaäänien eristävyyteen. Huoneistojen välisen ääneneristävyyden saavuttamiseksi ilmatilan tulee olla vähintään 200mm. Välipohjan ääneneristävyyttä voidaan parantaa samalla tavalla, kuin väliseinän ääneneristävyyttä asentamalla sinne ääntä absorboivaa materiaalia kuten mineraalivillaa (Lahtela 2004, 14–36.)

4.2 Äänen sivutiesiirtyminen puurakenteissa

Ääni voi siirtyä huoneistosta toiseen myös rakenteiden liitoksista, sivuavista rakenteista, ilmanvaihtokanavien tai lämmityspattereiden välityksellä. Äänen siirtymistä sivuavissa rakenteissa voidaan estää joustavalla äänikatkolla tai katkaisemalla sivutiesiirtymäreitti tai rakenteiden joustavilla liitoksilla. Myös LVI-asennuksia suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon äänen sivutiesiirtyminen (Lahtela 2004: 14–36) (Siikanen 2004: 154.)

Koska ääni kulkee ilman välityksellä, on rakennuksen hyvä ilmatiiveys äärimmäisen tärkeä ilmaäänieristävyyden kannalta. Rakenteessa oleva erittäin pieni rako aiheuttaa jo merkittävän heikennyksen ilmanäänieristävyydessä. Kuvassa 7 on esimerkki ulkoseinän ja välipohjan liitoksesta (Lahtela 2004: 14–36) (Siikanen 2004: 154.)



Kuva 7. Ulkoseinän ja välipohjan liitos

4.3 Ulkovaipan ääneneristävyys

Ulkovaipassa sijaitsevia eristäviä rakenteita ovat ulkoseinän lisäksi ikkunat, ovet, yläpohja ja lisäksi ilmakehien ja läpivientien rakenteet. Eri rakenteiden ja niiden liitosten ilmatiiveys on myös erittäin tärkeää riittävän ääneneristävyyden kannalta (Lahtela 2004: 14–36.)

Yläpohja toimii myös jo tutuksi tulleella kaksinkertaisena rakenteena, jossa vesikatteen ja alakaton välissä sijaitseva tuuletustila toimii ääntä eristävänä ilmatilana. Yläpohja toimii siis samalla periaatteella, kuin seinärakenne tai alapohja ja paksun eristekerroksen ansiosta sen ääneneristysominaisuudet ovat erittäin hyvät (Lahtela 2004: 14–36.)

Ulkovaipan ääneneristävyyteen vaikuttavat kaikki siihen liittyvät rakenteet, eli yläpohja, seinärakenne, ikkunat, ovet ja ulkoilmaventtiilit, joten ääneneristävyyttä määrittäessä näitä rakenteita käsitellään yhtenä rakenteena (Lahtela 2004: 14–36.)

4.4 Välipohjien askeläänieristys

Betonirakenteisissa taloissa välipohjarakenteena on usein ontelolaatasto tai paikalla valettu betonilaatta, joiden hyvä askeläänieristys perustuu rakenteiden suureen massaansa. Rakenteen massan kasvattaminen loputtomiin ei kuitenkaan ole kustannustehokasta, vaan tehokkain keino askeläänieristyksen parantamiseksi on käyttää pehmeitä lattianpäällysteitä. Pehmeitä lattianpäällysteitä ovat esimerkiksi muovimatot ja parketit (Kylliäinen 2006: 99–112.)

Asuinrakennuksien tiukentuneet vaatimukset askeläänieristyksessä ovat johtaneet kuitenkin siihen, että asuinrakennuksissa suositaan pääsääntöisesti kelluvien lattioiden rakentamista. Kelluvassa lattiassa välipohjarakenteen päällä on pehmeä eristekerros, jonka päälle valetaan esimerkiksi betonilaatta tai pumppu-

tasoitekerros. Kelluvaa lattiaa voidaan kutsua myös kaksinkertaiseksi lattiarakenteeksi ja akustisen toiminnan kannalta merkittävimpiä ominaisuuksia ovat ominaisuustaaajuus f_0 , kelluvan rakenteen pintamassa m' ja eristekerroksen dynaaminen jäykkyys s' . Ominaisuustaaajuudessa on huomioitava myös kantavan rakenteen massa sekä jäykkyys. Akustisesti kelluva laatta toimii parhaiten mitä pienempi sen ominaisuustaaajuus on (Kylliäinen 2006: 99–112.)

Kevyitä välipohjia ovat rakenteet, joiden kantavina rakenteina toimivat teräsprofiilit tai puusta valmistetut ristikot ja vastaavat rakenteet. Tällaisten rakenteiden massa on yleensä alle 100 kg/m^2 ja niiden askeläänieristys ei tästä johtuen voi perustua rakenteen massaan, vaan kevyiden välipohjien askeläänieristys perustuu niiden levykerroksien massaan sekä ilmapäleihin (Kylliäinen 2006: 99–112.)

Kevyitä välipohjia tutkittaessa on kiinnitettävä erityisesti huomiota sen askeläänieristävytyteen matalilla taajuuksilla, koska niiden toiminta perustuu rakennekerroksien resonanssitaajuuksiin. Kävelyn ja lattiaan kohdistuvat iskut aiheuttavat värähtelyä ja se on voimakkaampaa kevyissä rakenteissa kuin massiivisissa rakenteissa. Tällainen värähtely esiintyy usein kuuloalueemme ulkopuolella 6-20 Hz:n taajuudella. Tästä johtuen kevyisiin välipohjiin on tehtävä suunnitteluvaiheessa värähtelymitoitus (Kylliäinen 2006: 99–112.)

5 Puun rakenne ja ominaisuudet

Rakentamisessa puu on saavuttanut suuren suosion sen käyttöominaisuuksiensa ansiosta. Puulla on rajattomat mahdollisuudet rakentamisessa, koska se on kevyen rakenteensa lisäksi lujaa, helposti muokattavaa ja käsiteltävää ja sen uusiokäyttö onnistuu myös helposti. Lisäksi massiivirakenteisena puu on palonkestävyys ja lämmöneristävyys ominaisuuksiltaan myös melko hyvä.

Rakentamisessa puun tärkeimpiä ominaisuuksia ovat veto-, taivutus- ja puristuslujuus sekä kimmoisuus. Puun kestävyys ja ominaisuudet vaihtelevat paljon eri puulajien välillä ja se asettaa tietynlaisia haasteita rakennuksien suunnitteluun ja

rakentamiseen. Rakennusteollisuudessa käytetään normaali sahatavaran lisäksi paljon myös ns. "insinööripuutuotteita", joita ovat esimerkiksi liimapuu, kertopuu, I-palkki ja CLT monikerroslevy. Näitä puutuotteita käytetään yleensä kantavissa rakenteissa (Piesala 2011:17; "Puutieto" < <http://www.puuinfo.fi/puutieto>> 3.7.2015).

Taulukko 1. Sahatavaran lujuusominaisuuksia (Leivo 2001: 459)

Ominaislujuus	T40	T24	Liimapuu	Kertopuu
Taivutus (N/mm²)	29	20	31	37
Puristus syynsuuntaan (N/mm²)	28	19	30	30
Veto (N/mm²)	19	13	21	32
Kimmomoduuli (N/mm²)	8500	6500	8500	10400

Puurakentaminen on viimevuosina kasvattanut suosiotaan rakennusteollisuudessa merkittävästi ja sen odotetaan ottavan yhä suurempaa suosiota rakentamisessa lähitulevaisuudessa. Puu on suosituin rakennusmateriaali pari-, rivi- ja omakotitalo rakentamisessa, mutta kerrostalo rakentamisessa se hakee vielä jalansijaa. Tulevaisuudessa ympäristötekijät ja ekologisuus tulevat vaikuttamaan yhä enemmän rakentamiseen, joten puurakentaminen tulee olemaan varteentotettava vaihtoehto vastaamaan näihin haasteisiin.

5.1 Puun koostumus

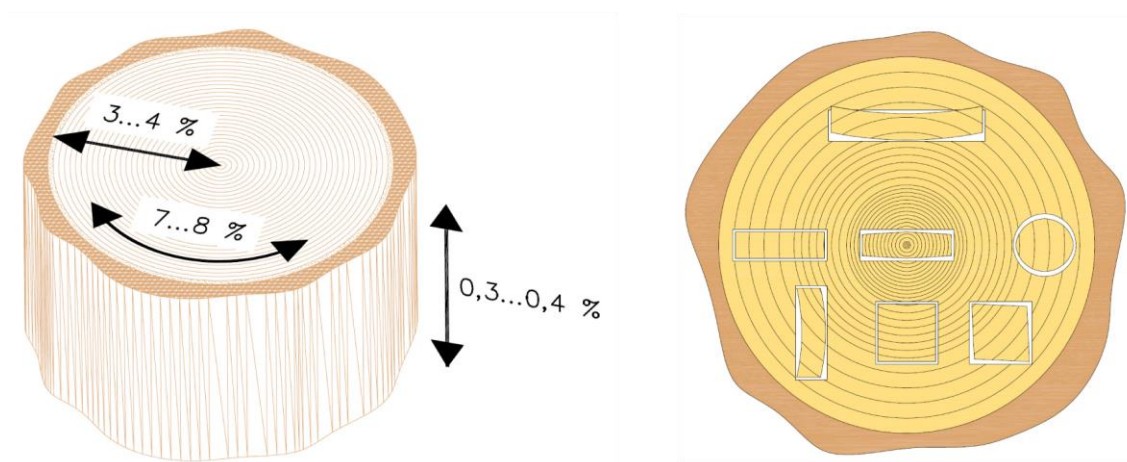
Puuaineksen rakenne ja koostumus muodostuu vierekkäisistä putkimaisista solukoista. Tämän rakenteen ansiosta puu on erittäin lujaa suhteessa sen omaan painoon ja puun lujuus kasvaa sen kuivuessa. Puun lujuuteen vaikuttaa myös sen tiheys, joka mitataan kuution kokoisesta kappaleesta, kun se on saavuttanut 15 %:n kosteuden. Puun tiheys riippuu soluseinämien paksuudesta ja eri puula-jeilla tiheysominaisuudet voivat olla hyvinkin erilaiset (Taulukko 1). (Piesala 2011:17 – 19.)

Taulukko 2. Taulukossa on esiteltynä eri puulajien lujuusominaisuuksia.

Puulaji	Tiheys kg/m³	Vetolujuus N/mm²	Kimmo- moduuli N/mm²	Puristuslujuus (syiden suunta) N/mm²
Tammi	690	90	60	11 500
Koivu	600	80	40	16 200
Kuusi	440	90	50	10 500
Haapa	490	60	40	10 500

Puu on hygroskooppinen aine, joka tarkoittaa sitä, että se imee vettä. Puun solu-seinämät kykenevät imemään vettä, jolloin ne turpoavat. Rakentamisessa tämä ominaisuus tulee ottaa huomioon, koska puu elää ympäröivän ilman suhteellisen

kosteuden mukaisesti. Puu kutistuu kuivuessaan ja turpoaa kostuessaan ja se asettuu aina tasapainokosteuteen oman ympäristönsä kanssa. Puun kosteuselämistä voidaan rajoittaa kyllästämällä tai lämpökäsittelyllä. (Piesala 2011:17 – 19.)



Kuva 6. Puun eläminen kuivuessa ("Kosteusteknisiä ominaisuuksia" <<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>>).

Vaikka yleiset ennakkoluulot puun palonkestoa kohtaan voivat olla huonot, niin sen ominaisuudet palotilanteessa ovat päinvastoin hyvät. Puu on palavaa materiaalia ja sen syttymislämpötila on noin +250–300 °C. Kun puu syttyy se alkaa hiiltä 0,8 mm/minuutti ja syntynyt hiilikerros suojaa puun sisempiä pintoja kuumumiselta ja näin ollen palon etenemiseltä. Tätä ominaisuutta hyödynnetään erityisesti massiivipuurakenteissa, joita käytetään rakennuksien kantavissa rakenteissa. Palotilanteessa puun kanssa saman kantokyvyn omaava teräsrakenne voi muuttaa muotoaan ja sortua, mutta puurakenne ei vielä romahda (Piesala 2011:17 – 19.)

Suurin etu puulla raaka-aineena on sen ympäristöystävällisyys ja uusiutuvuus. Toisin kuin suurin osa teollisuuden eri raaka-aineista, puu on uusiutuva luonnon-

vara. Puu on myös rakennusjätteenä helppo käsitellä ja siitä saadaankin tuotettua polttoenergiaa. Puun helpon muokattavuuden ansiosta, puurakenteita on helppoa korjata, tai muokata uuteen käyttötarkoitukseen ja etenkin korjausrakentamisessa se on erittäin kustannustehokas materiaali (Piesala 2011:17 – 19.)

5.2 Äänenjohtavuus

Puupinnat ovat huonoja äänen vaimentajia, mutta useamman levykerroksen sisältämät puurakenteet ovat hyviä eristämään ääntä. Tiivis puurakenne eristää ääntä jopa 90 % ja esimerkiksi vaneria käytetäänkin paljon soittimissa ja siitä muodostetaan ääntä ohjaavia pintoja rakennuksissa. Puu johtaa ääntä paremmin syiden suuntaan, kuin poikittain syitä vastaan (Liikuntabiologian laitos 2009.)

Kiinteissä aineissa ääniaallot kulkevat poikittaisina tai pitkittäisinä aaltoliikkeinä ja niiden etenemisnopeuteen vaikuttavat väliaineen tiheys ja kimmokerroin.

$$1. (v = \sqrt{\frac{E}{\rho}})$$

Koska ääniaallot kuljettavat energiaa, äänen intensiteetti on ääniaallon mukana kulkeutuvan tehon määrä pinta-alaa kohden (W/m^2). Intensiteetti lasketaan kaavalla

$$2. (I = \frac{P}{S} = \rho c \sigma v^2)$$

Äänen intensiteettitaso lasketaan kaavalla

$$3. (10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB}), \text{ jossa } I_0 \text{ on äänen lähtötason standardi.}$$

Äänen vaimentumiseen väliaineessa vaikuttavat väliaineen paksuus (α) ja sen heikennyskerroin (x), ja se lasketaan kaavalla

$$4. (I = I_0 e^{-\alpha x}).$$

Näiden kaavojen avulla voidaan tarkastella äänen käyttäytymistä puussa ja erilaisissa puurakenteissa. Seuraavassa kappaleessa on muutama esimerkki, joissa tullaan hyödyntämään näitä laskukaavoja ja soveltamaan niitä tosielämän tilanteisiin. Laskuissa pyritään tarkastelemaan teoreettisella tasolla äänen käyttäytymistä ja etenemistä puurakenteessa. (Liikuntabiologian laitos 2009.)

6 CLT-Elementti

CLT on lyhenne sanoista ”cross laminated timber”, joka tarkoittaa ristiin liimattuja puulevykerroksia. Tällä tekniikalla valmistettu CLT-elementti on todella luja rakennusmateriaali ja sitä voidaan valmistaa jopa 2,95 x 16 m:n paloina, mikä mahdollistaa elementtien nopean ja helpon asennuksen.

CLT-elementit ovat hyvin räätälöitävissä ja ne sopeutuvat yhteen lähestulkoon kaikkien rakennusmateriaalien kanssa, mikä tarjoaa rajattomasti mahdollisuuksia rakentamisessa. CLT-elementtien aukotus ja eristys voidaan tehdä myös tehtaalla, mikä vähentää ja helpottaa entisestään rakentamisen työvaiheita ja nopeuttaa aikatauluja. CLT-rakenteen hyviä puolia nopean rakentamisen lisäksi on sen tiiveys, paloturvallisuus sekä ekologisuus.

7 Tulokset

Teoreettisessa tutkimuksessa käytetään apuna konetekniikan koulutusohjelmassa käytettävää Creo 2.0-tietokoneohjelmaa. Creolla voidaan mallintaa erilaisista materiaaleista tehtyjä objekteja ja kokoonpanoja, jotka voidaan laittaa erilaisten ulkopuolisten voimien vaikutuksen alaiseksi ja tarkastella sen jälkeen miten kyseiset voimat vaikuttavat eri objekteihin.

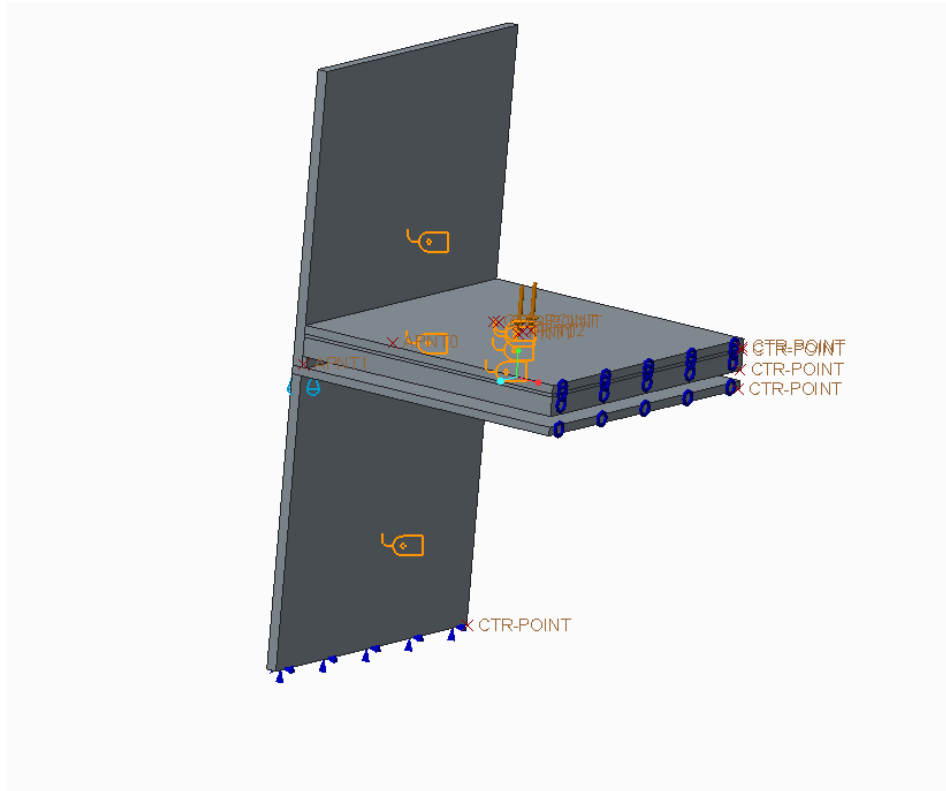
Tässä opinnäytetyössä Creolla mallinnetaan puurakenteisen välipohjan värähtelystä aiheutuvan runkoäänien kulkeutumista rakenteissa ja tutkitaan onko tärinävaimentimen käyttö tarpeellista tai edes järkevää runko- ja välipohjarakenteen liitoksessa. Välipohja on kaksinkertainen rakenne, jossa on kelluva betoninen pintalaatta. Runko- ja välipohjarakenteena on käytetty puisia CLT-elementtejä, jotka on liitetty toisiinsa ruuviliitoksilla.

7.1 Case esimerkki 1

Liitteessä 1 on esiteltyinä leikkauskuva runko- ja välipohjarakenteen liitoksesta, joka on mallinnettu Creo 2.0-ohjelmalla. Liitteissä 2 ja 3 on tarkempaa tietoa rakenteissa käytetyistä materiaaleista ja niiden rakennepaksuuksista.

Näiden tietojen pohjalta Creolla on mallinnettu tilanne, jossa voimalla F aiheutetaan harmonista värähtelyä välipohjarakenteeseen alueelle X ja tarkastellaan sen vaikutusta runkoelementtiin ja tärinänvaimentimeen. Esimerkin rakenneratkaisuissa on pyritty estämään värähtelyä askeläänieristeellä ja mineraalivillalla. Mallinnuksessa rakennetta kuormitettiin nuolien osoittamista kohdista (kuva 7) 1 kN :n voimalla ja 10 Hz :n taajuudella yhden sekunnin ajan ja tarkasteltiin sen vaikutuksia rakenteessa tärinäeristeen kanssa, sekä ilman tärinäeristettä.

Mittaustuloksia suoritettiin neljästä eri pisteestä ja mallinnuksen tarkoituksena oli simuloida noin 100 kg painavan henkilön aiheuttamaa mahdollista rasitetta rakenteelle.



Kuva 7. Creolla mallinnettu rakenne.

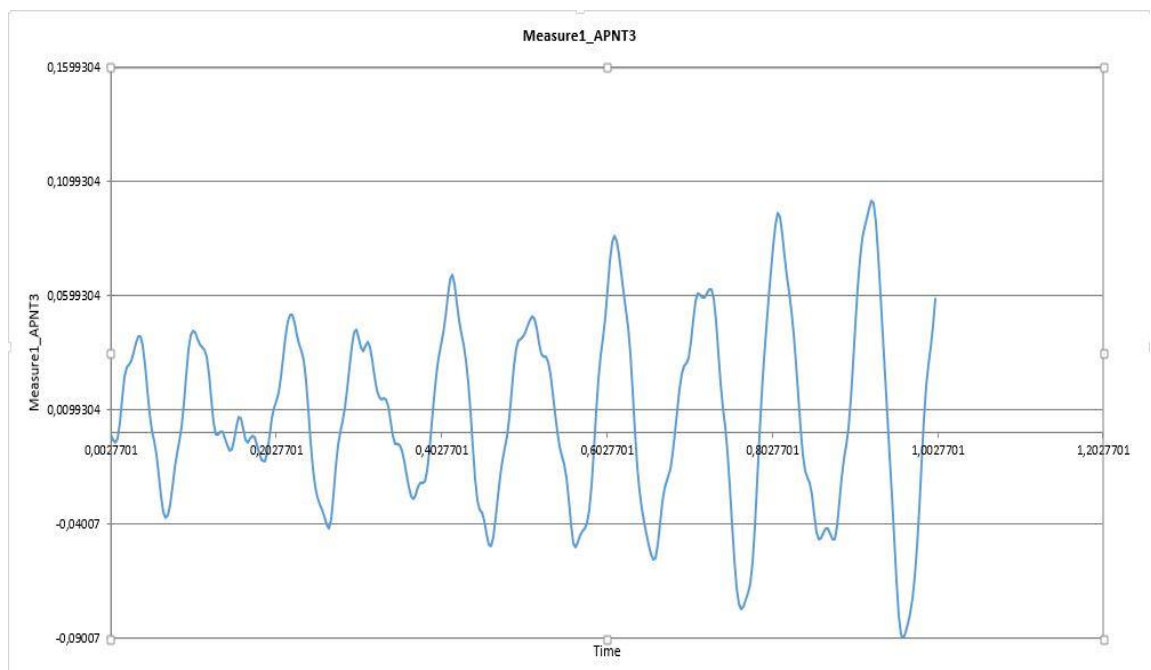
7.2 Tulokset

Creo 2.0 mallinnuksen tuloksia tarkastellessa (kuvat 8-11) voidaan todeta, että tärinäeristeen kohdalla sovelluksen toimivuus kyseisen rakenteen mallintamiseen voi olla epäluotettava ja vaatisi tarkempaa tutkimustyötä. Ohjelmasta saatiin kuitenkin irti sinikäyrää CLT-elementtien liitoksesta eristeen kanssa, sekä ilman eristettä.

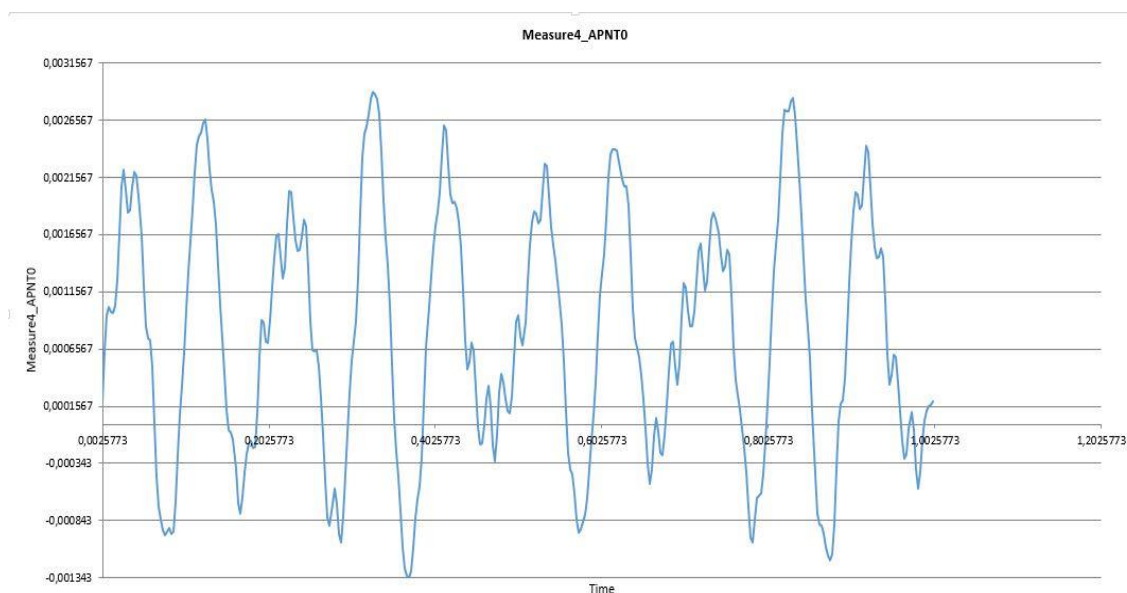
Tuloksien perusteella voi havaita, että värähtely ei ollut merkittävän suurta kummassakaan tapauksessa. Sen sijaan kun verrataan saavutettuja tuloksia toi-

siinsa, yllättävää on se, että rakenne jossa on mukana tärinäeristin, reagoi voimakkaammin rakenteeseen vaikuttavaan voimaan. Tämä tulos voi johtua mittapisteiden huonosta sijoittelusta, jolloin mittaustulokset reagoivat voimakkaammin eristimen pintaan suhteutettuna. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty mittaustuloksia tärinäeristeen omaavasta rakenteesta, sekä ilman eristintä olevasta rakenteesta.

Käyristä voidaan myös havaita, että niiden sisällä vaikuttaa myös resonanssitaajuus, eli rakenteeseen kohdistuva voima on runkovärähtelyn ja resonanssitaajuuden superpositio.



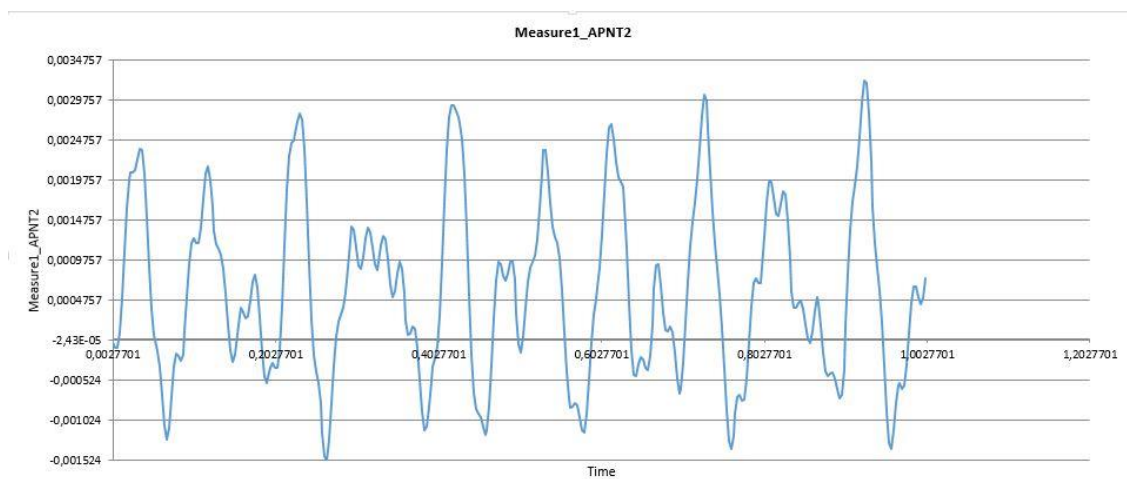
Kuva 8. Mittaustulos rakenteen värähtelystä (mm) tärinäeristeen alapinnasta rakenteen keskeltä.



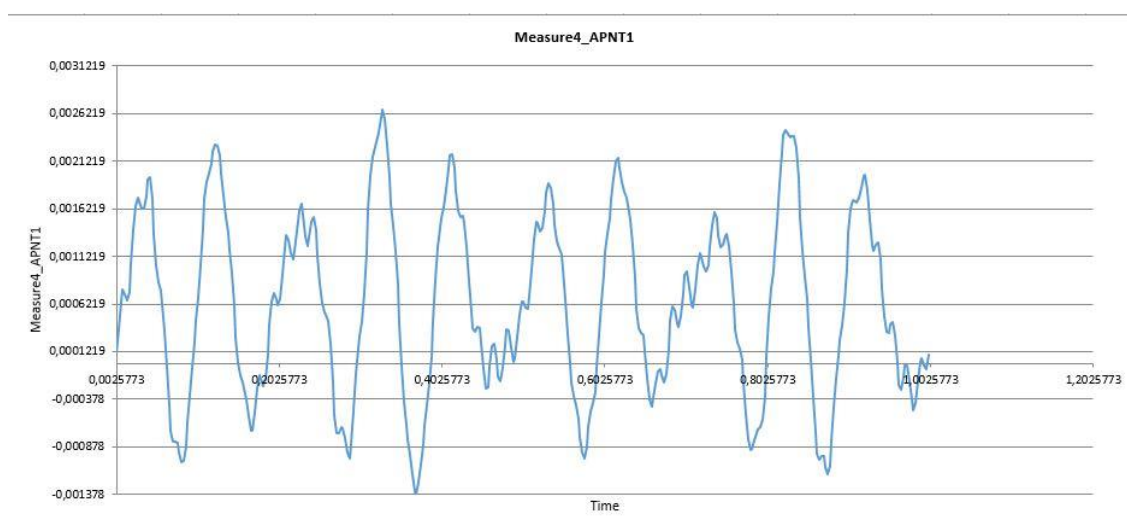
Kuva 9. Mittaustulos rakenteen värähtelystä (mm) rakenteen keskeltä ilman tärinäeristintä.

Tuloksista voidaan päätellä, että esimerkkitapauksen rakenneratkaisut vaimentavat itsessään tarpeeksi hyvin värähtelyä ilman tärinäeristintä. Rakenteen värähtelypoikkeaman maksimi asettuu 0,0026 mm – 0,0030 mm, joka on suuruudeltaan suhteellisen pientä. Yhdessä mittauspisteessä tärinäeristeen kanssa poikkeaman maksimi oli kuitenkin 0,09 mm, joka on suuruudeltaan melko paljon. Tämä johtunee siitä, että mittapiste oli sijoitettu tärinäeristeen pintaan joten kevyenä väliaineena se reagoi voimakkaammin rakenteeseen kohdistettuun värähtelyyn. Tämän takia jatkotutkimuksissa mittauspisteiden sijaintia tulisi miettiä tarkemmin, että saataisiin mahdollisimman realistisia tuloksia.

Tuloksissa esiintyi poikkeavuuksia myös rakenteen reunoille sijoitetuissa mittauspisteissä. Rakenteessa, jossa oli tärinäeristin, värähtelyn suuruus pieneni reunapisteellä, kun taas ilman eristintä olevassa rakenteessa värähtelyn voimakkuus oli lähestulkoon yhtä suuri. Suurimpana syynä tähän arvioisin materiaalien ominaisuuksien erot. Tärinäeristin on sen verran kevytrakenteinen materiaali, että se reagoi voimakkaammin pisteessä, joka on lähempänä kuormittavaa voimaa, kun taas CLT-elementti käyttäytyy jäykempänä rakenteena paljon yhtenäisemmin.



Kuva 10. Mittaustulos rakenteen reunan värähtelystä (mm) tärinäeristeen kanssa.



Kuva 11. Mittaustulokset rakenteen reunan värähtelystä (mm) ilman tärinäeristintä.

Vaikka mittaustulokset olivatkin pieniä, ei niiden perusteella voida antaa rakenteelle parasta A tärinäluokkaa Teknologian tutkimuskeskus VTT:n suositusten

mukaan. Rakenteen tärinäluokitus on kuitenkin hivenen parempi, kuin suunnitteluhjeiden suositusraja. Esimerkitapauksen tärinäluokitus on määritelty kaavalla,

5. ($\hat{v} = \omega \hat{y} = 2\pi f \hat{y}$), jossa f on värähtelyn taajuus ja \hat{y} on värähtelypoikkeama, saadaan $\hat{v} = \omega \hat{y} = 2\pi * 10\text{Hz} * 0.003\text{mm} = 0.19\text{ mm/s}$

Tulosta voidaan verrata VTT:n taulukkoon, josta voidaan todeta, että rakenteen tärinäluokitus asettuu tärinäluokkien B ja C väliin (Taulukko3).

Värähtelyluokka	kiihtyvyyden tunnusluku $a_{w,95}$ [mm/s ²]	nopeuden tunnusluku $v_{w,95}$ [mm/s]	kuvaus olosuhteista
A	$\leq 3,6$	$\leq 0,10$	Hyvät asuinolosuhteet. Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää.
B	$\leq 5,4$	$\leq 0,15$	Suhteellisen hyvät olosuhteet. Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.
C	$\leq 11,0$	$\leq 0,30$	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. Keskimäärin 15% asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöistä.
D	$\leq 21,0$	$\leq 0,60$	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25% asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöistä.

Taulukko 3. VTT:n tärinäluokitustaulukko (Taulukko: Asuinrakennusten ääniteknikan täydentävä suunnitteluohje <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2160.pdf>>:3.4.2016).

Värähtelyn aiheuttama äänenvoimakkuus rungossa lasketaan kaavalla

6. ($P = \rho c \sigma S \langle v^2 \rangle$), jossa ρ on ilman tiheys, c on äänen nopeus ilmassa, σ on säteilysuhde, $\langle v^2 \rangle$ on nopeuden neliön aikakeskiarvon pinta-alakeskiarvo ja S on säteilevän pinnan ala.

Ratkaistaan sinimuotoisessa värähtelyssä neliöllinen keskiarvo kaavalla,

$$7. \quad v = \frac{\hat{v}}{\sqrt{2}} = \frac{0,19 \text{ mm/s}}{\sqrt{2}} = \frac{0,134 \text{ mm}}{s} = 0,000134 \text{ m/s}$$

Ratkaistaan intensiteetti I kaavalla (2),

$$I = \frac{P}{S} = \rho c \sigma v^2 = \frac{1,225 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 343 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{0,000134^2 \text{ m}^2}{\text{s}^2} = 0,00000758$$

Rungon värähtelyn aiheuttama äänenvoimakkuus (dB) saadaan kaavasta (3),

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{0,0000076}{10^{-12}}\right) = 68,8 \text{ dB}$$

Laskennallisesti rungon 0,003 mm värähtely aiheuttaa siis 68,8 dB äänen, jossa ei kuitenkaan ole huomioitu mahdollisia pintamateriaaleja tai huoneen aiheuttamaa absorptiota, joka tulee todennäköisesti vaimentamaan rungosta aiheutuvaa ääntä.

7.3 Johtopäätökset

Mallinnuksen tuloksien perusteella voidaan kyseenalaistaa tärinäeristeen tarpeellisuus kyseisessä CLT rakenteessa, jossa välipohjan päälle on valettu keluva betonilaatta. Rakenne on mittaustuloksien perusteella itsessään riittävän massiivinen vaimentaakseen matalia taajuuksia. Mittaustuloksissa poikkeavaa oli kuitenkin se, että rakenteessa, jossa oli tärinäeristin, oli värähtelyn suuruus voimakkaampaa rakenteen keskiosassa.

Tuloksiin täytyy kuitenkin suhtautua kriittisesti, koska Creo 2.0 ohjelmistoa ei ole suunniteltu rakennusteollisuuden tarkoituksiin ja mittaustuloksissa esiintyi pieniä

epävarmuustekijöitä. Suositeltavaa olisi suorittaa käytännön koe, jossa mittaukset suoritettaisiin tärinäantureilla oikeasta rakenteesta.

Vaikka teoria ja käytäntö ovatkin kaksi aivan eri asiaa, voi tuloksia kuitenkin pitää suuntaa antavina. Tärinäeristeen käyttö kantavissa rakenteissa voi aiheuttaa ongelmia rakenteen jäykistykseen kanssa, joten sen käytön hyötyjä ja haittoja tulisi-kin pohtia tarkasti suunnitteluvaiheessa.

8 Pohdinta

Opinnäytetyössä pääsin perehtymään äänioppiin ja sen fysikaalisiin vaikutuksiin talonrakentamisessa. Tarkoituksena oli tutkia äänen kulkeutumista puurakenteissa matemaattisesti laskemalla, mutta se osoittautui erittäin haasteelliseksi rakenteiden monimuotoisuuden takia. Käytin opinnäytetyössä hyödyksi konetekniikassa käytössä olevaa tietokoneohjelmaa nimeltä Creo. Vaikka ohjelmaa ei olekaan suunniteltu rakennusteollisuuteen, oli sen toimintaperiaate kuitenkin sovellettavissa rakentamiseen.

Työtä tehdessä huomasin, että rakennusakustiikassa täytyy huomioida monia eri tekijöitä ääniteknisesti hyväksyttävän rakennuksen suunnittelussa. Oikeiden rakenteellisten ratkaisuiden valinta ja materiaalien käyttäminen on avainasemassa hyvän rakennusakustiikan saavuttamiseksi.

Opinnäytetyötä tehdessä pääsin perehtymään syvällisemmin rakennuksien ääneneristämisen menetelmiin, joka toimi loistavana oppina tulevaisuutta ajatellen. Lisäksi pääsin soveltamaan työssäni menetelmää, jota ei rakennustekniikassa käytetä ja koinkin sen olevan opinnäytetyön parasta antia. Eri alojen menetelmistä voitaisiin muutenkin oppia enemmän, koska se voisi hyvinkin poikia uusia innovaatioita tai ainakin syventää oman alan osaamista.

Lähteet

Helakorpi, Seppo & Ahoranta, Jukka. 2007. Uusi omega: Ammatillinen fysiikka toisen asteen koulutukseen.

Inkinen, Pentti; Manninen, Reijo; Tuohi, Jukka. Momentti: insinöörifysiikka

Kärkkäinen, Matti. Puun rakenne ja ominaisuudet.

Rossing Thomas D, Moore F. Richard, Wheeler Paul A. The science of sound.

Tero Lahtela, Ääneneristys puutalossa. Espoo, Suomi. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>. 12.2.2016

Halme, A. Rakennus- ja huoneakustiikka. 1976. Meluntorjunta. Otapaino: Espoo.

Suomen rakentamismääräys kokoelma, ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf>. 10.1.2016

Juha Karkkulainen ja Ari Kinnunen. 2014. eFysiikka 7. Saatavilla: <https://peda.net/valkeakoski/pk/tyry/jopo-luokka/efysiikka-72/aal>. 13.2.2016

Puu info, Puurakenteiden ääneneristys. Saatavilla: <http://www.puuinfo.fi/puu-tieto/puusta-rakentaminen/puurakenteiden-%C3%A4%C3%A4neneristys>. 10.1.2016

Mika, Levo. Puurakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020301.pdf>. 13.2.2016

Mikko Kylliäinen, Talonrakentamisen akustiikka. 2006. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavilla: http://tutcris.tut.fi/portal/files/1673910/kylliainen_talonrakentamisen_akustiikka.pdf. 2.4.2016

Heikki Helimäki ja Timo Huhtala. 2009. Asuinrakennusten äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje. Saatavilla:

<https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=39&cad=rja&>

uact=8&ved=0ahU-

KEwiv9LL7p_XLAhWIKiWKHUJFBAg4HhAWCFEwCA&url=http%3A%2F%2Fwww.elementtisuunnittelu.fi%2FDownload%2F21797%2FSuunnitteluohje_fi-nal_osa1.pdf&usg=AFQjCNFRZpgJ2aS015tqfs5WxBMXcG2Jjw&bvm=bv.118443451,d.bGg. 2.4.2016

Markku Hentinen, Pertti Hynnä, Tapio Lahti, Kalervo nevala, Aki Vähänikkilä ja Markku Järviluoma. 2002. Värähtelyn ja melun vaimennuskeinot kulkuvälineissä ja liikkuvissa työkoneissa. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2160.pdf>. 3.4.2016

Liitteet

